

УДК 621.384.3:621.3.049.77.001.72

В. Н. Борщов, докт. техн. наук,
А.М. Листратенко, канд. техн. наук,
В.А. Антонова, канд. техн. наук,
Я.Я. Костышин, **М.А. Проценко**,
И.Т.Тымчук, **А.В. Ефанова**,
Л.В.Климова, **Ю.А. Шуленко**,
Е.И.Дегтярева

Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения

В.Г.Сенчишин, докт. техн. наук
 ООО НПФ Амкрис-Пласт

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ НА ГИБКИХ АЛЮМИНИЙ-ПОЛИИМИДНЫХ ПЛАТАХ

1. Введение

В настоящее время для повышения интенсивности света, падающего на фотоэлектрические преобразователи в концентраторных солнечных батареях, широко используются зеркальные и линзовые концентрирующие устройства. При диффузном освещении эффективность таких устройств низка. Поэтому актуальной практической задачей является разработка эффективных концентраторных систем, лишенных отмеченного недостатка. К таким системам можно отнести люминесцентные концентраторные системы [1-5].

Основными компонентами люминесцентных концентраторных систем являются:

- люминесцентные солнечные концентраторы (ЛСК), концентрирующие как направленное, так и диффузное излучение без систем слежения за движением Солнца по небосводу;
- специально подобранные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), которые должны иметь высокий отклик в диапазоне активности ЛСК;
- фотонные структуры, задачей которых является воздействие в направлении уменьшения диффузного рассеяния света в эмиссионном диапазоне красителей.

Люминесцентные солнечные концентраторы известны с 70-х г.г. прошлого столетия [6, 7] и традиционно представляют собой пластину из стекла или прозрачного полимера с добавками молекул органических красителей или квантовых точек [8], действующих как центры люминесценции. В ЛСК молекулы красителей в матрице поглощают падающее излучение и эмитируют свет с большей длиной волны. Значительная часть эмитированного света в результате полного внутреннего отражения улавливается в ЛСК и направляется к торцам концентратора, где преобразуется установленными там фотопреобразователями в электричество. Таким образом, ЛСК обеспечивают концентрацию света с одновременной люминесцентной трансформацией солнечного излучения в спектральный интервал максимальной чувствительности ФЭП.

Известен ряд работ, в которых рассмотрены основы работы ЛСК, результаты экспериментальных исследований концентраторов различных конструкций и влияние

спектрально-люминесцентных параметров ЛСК на коэффициент концентрации светового потока. Исследования ЛСК на начальном этапе были направлены на снижение стоимости солнечных модулей путем замены в них дорогих фотопреобразователей более дешевыми люминесцентными материалами. Однако, некоторые нерешенные проблемы привели к падению интереса к исследованию ЛСК. Во-первых, используемые органические красители имели относительно узкий диапазон поглощения солнечного света. Во-вторых, несмотря на то, что органические красители показывали в видимом спектральном диапазоне высокую квантовую эффективность процесса поглощения и переизлучения солнечного света (выше 95%) [1], в инфракрасном диапазоне квантовая эффективность составляла 50% и ниже. Основной проблемой были потери в результате диффузного рассеяния, которые теоретически равны 26%, а реально из-за процессов многократной абсорбции и реэмиссии значительно больше. Наконец, достаточно трудно было подобрать эффективные ФЭП, спектральная чувствительность которых соответствовала бы спектру излучения органических красителей.

После 20-летнего прогресса в области развития ФЭП, органических красителей и новых технологий в создании концентраторных систем снова возрос интерес к исследованию ЛСК в Соединенных Штатах Америки и многих странах Европы. Достигнуты относительно высокие эффективности концентраторных систем. Так, использование в концентраторной системе комбинации двух люминесцентных концентраторов с различными красителями приводит к увеличению эффективности на 30% по сравнению с системой с одним ЛСК. Реальная эффективность составила 6,9% [1-7], а ее рекордное значение равно 7,1% [4, 9].

Потери, связанные с обеспечением необходимых углов полного внутреннего отражения в настоящее время могут быть уменьшены с помощью фотонных поверхностных структур, которые действуют как частотный фильтр с заданной полосой задержки. Фотонные структуры характеризуются высоким коэффициентом пропускания в абсорбционном диапазоне красителей и высокой отражающей способностью в эмиссионном диапазоне красителей.

Принцип действия фотонных структур показан на рис.1.

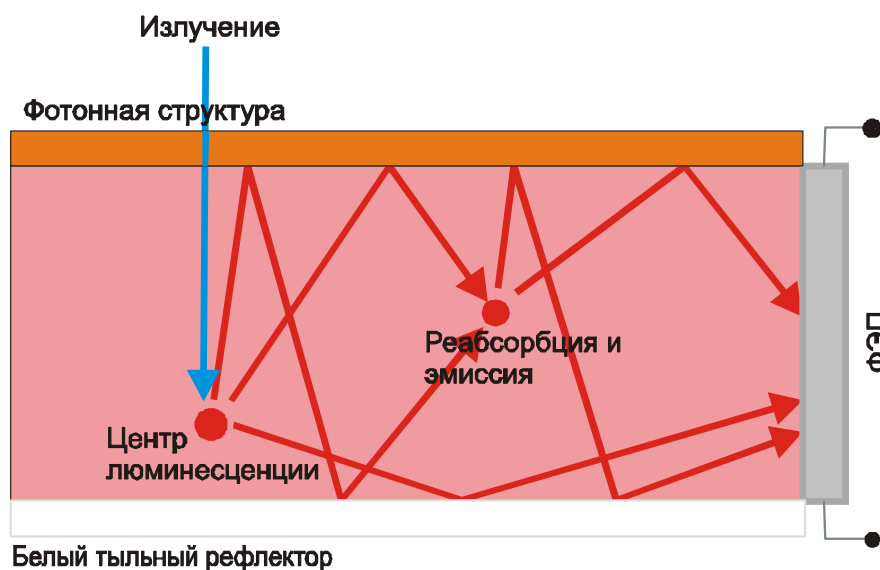


Рис.1. ЛСК с фотонной структурой

Следует отметить, что частотные фильтры представляют собой многослойную систему, имеют антиотражающее покрытие, оптимизированное для абсорбционного

диапазона красителей, характеризуются синусоидальным профилем коэффициента отражения, изготавливаются осаждением пленок с использованием метода ионной бомбардировки, и поэтому являются дорогими в производстве [1,2].

Уменьшение потерь систем возможно также в результате использования белых тыльных рефлекторов, повышающих относительную эффективность системы на 65% [4]. Тыльные рефлекторы имеют высокий диффузный коэффициент отражения и низкий коэффициент зеркального отражения излучения. В качестве материала для тыльных рефлекторов можно использовать политетрафлюорэтилен [1,2], прозрачную алюминизированную пленку с коэффициентом отражения 97% [4], а также материал Scattergloss компании Alanod (Германия) [11].

Для систем, исследованных в приведенных выше работах [1-4], экспериментальные образцы солнечных люминесцентных концентраторных модулей собирали с помощью традиционной технологии поверхностного монтажа методом пайки и проволочной коммутации фотопреобразователей (рис.2 [1]).

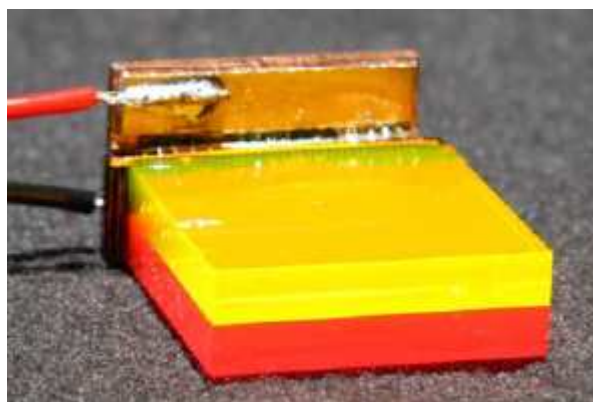


Рис.2. Экспериментальный образец солнечного концентраторного модуля, собранного с помощью проволочной коммутации [1]

В многослойных блоковых конструкциях люминесцентных концентраторных модулей для крупногабаритных систем такая технология сборки практически не позволяет реализовать трехмерную последовательно-параллельную коммутацию фотопреобразователей без сложной и прецизионной оснастки. В условиях пайки при повышенных температурах (припоем без свинца) может происходить ухудшение электрических параметров ФЭП (особенно многопереходных арсенид-галлиевых фотопреобразователей). Кроме того, надежность и срок эксплуатации паяных соединений уступает сварным соединениям из-за ползучести материала припоя, возникающего при высоких температурах эксплуатации концентраторных модулей, что может послужить причиной разрывов в электрических цепях.

2. Цель работы

Целью данной работы являлось разработка и исследование конструктивно-технологического решения концентраторного люминесцентного солнечного модуля на основе алюминий-полиимидных гибких коммутирующих плат, «chip-on-flex» (COF)-технологии сборки и ультразвуковой сварки фотопреобразователей [10].

Гибкие кабели и платы на основе безадгезивных лакофольговых алюминий-полиимидных диэлектриков типа ФДИ-А характеризуются пластичностью, гибкостью и стабильностью электрических характеристик и успешно заменяют проволочный монтаж. Использование COF-технологии при сборке солнечных приемников с люминесцентным концентратором позволяет устанавливать на торцах ЛСК и

осуществлять последовательно-параллельную коммутацию большого количества фотопреобразователей с очень высоким коэффициентом заполнения (90-95%) .

Алюминиевая COF-технология сборки адаптирована к существующему автоматизированному оборудованию ультразвуковой (УЗ) сварки типа Delvotec-6400, Kulicke Soffa 8090 и др., позволяющему обеспечить точность позиционирования при сварке $\pm 3-5$ мкм. При этом обеспечивается высокое качество и надежность сварных соединений не только из-за того, что свариваются однородные материалы, но также из-за того, что сварные электроды, применяемые в сварочных установках, позволяют обеспечить оптимальные режимы сварки.

Исключение проволочного монтажа при сборке концентраторных люминесцентных солнечных модулей и использование гибких пленочных плат позволяет значительно улучшить массогабаритные характеристики и снизить стоимость генерирующих устройств за счет упрощения процесса сборки «изящных» мозаичных витражей из отдельных модулей при установке их в оконных проемах жилых и офисных помещений.

3. Содержание работы

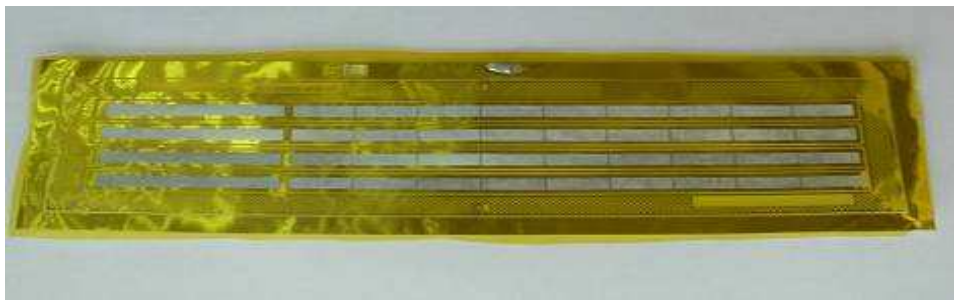
В данной работе описана технология сборки экспериментального образца плоского люминесцентного концентраторного модуля с размерами $100\text{мм} \times 100\text{мм} \times 2$ мм, на двух смежных торцах которого установлены по 9 параллельно соединенных кремниевых фотопреобразователей с алюминиевыми контактными площадками. Фотоэлектрические преобразователи с размерами $10\text{мм} \times 2,3\text{мм}$ смонтированы методом ультразвуковой сварки на гибкой плате из лакофольгового диэлектрика ФДИ-А-50 (толщина алюминия $h_{\text{Al}}=30$ мкм, толщина полиимида $h_{\text{ПИ}}=20$ мкм).

Люминесцентный солнечный концентратор изготовлен из полистирола (ПС) – высококачественного аморфного термопластика, с добавкой специального люминесцентного красителя типа ЛФ690, который активен в диапазоне длин волн 550...650 нм. ПС имеет высокий коэффициент светопропускания (92-99%) и легко поддается механической обработке обычным металлорежущим инструментом. Исключительные оптические свойства в видимой, УФ и ИК-областях спектра и возможность различных модификаций обеспечивают широкое применение ПС в светотехнике, оптике и других областях. Одним из главных преимуществ является то, что листы ПС могут быть окрашены в любой цвет, иметь много вариантов оттенков разной степени насыщенности, оставаясь при этом прозрачными.

Гибкие коммутирующие платы имеют габаритные размеры $127\text{ мм} \times 4,7\text{ мм}$ и состоят из верхнего и нижнего слоев. В верхнем слое (рис. 3, а) выполнены методом жидкостного травления полиимида и алюминия сквозные отверстия для ФЭП и сформированы алюминиевые контактные площадки шириной 1,6 мм. В нижнем слое (рис. 3, б) сформированы окна в полиимиде для установки ФЭП. К тыльным алюминиевым контактным площадкам ФЭП методом УЗ-сварки привариваются алюминиевые выводы нижней платы.



а)



б)

Рис. 3. Гибкая плата для монтажа ФЭП методом УЗ-сварки: а) – верхний слой гибкой платы стороной полиимида вверх; б) - нижний слой гибкой платы стороной полиимида вверх

Последовательность операций при сборке плоского люминесцентного солнечного модуля с кремниевыми фотопреобразователями следующая:

- изготовление нижнего и верхнего слоев гибких плат из материала ФДИ-А-50 методом химического жидкостного травления;
- соединение методом ультразвуковой сварки тыльных контактов фотопреобразователей с нижним слоем гибкой платы;
- удаление технологических зон в верхнем и нижнем слоях гибкой платы и разделение их на отдельные полосы размером 127 мм×4,7 мм по линиям перфорации;
- установка фотопреобразователей в верхнем слое гибкой платы таким образом, чтобы фотопреобразователи попали в сквозные отверстия, выполненные в гибкой плате, и их фронтальные контактные площадки совпали с алюминиевыми контактами верхнего слоя гибкой платы;
- соединение методом ультразвуковой сварки фронтальных контактных площадок ФЭП с контактами верхнего слоя гибкой платы, рис. 4;



Рис.4. Гибкая плата в сборе с ФЭП

- измерения фотоэлектрических параметров гибких плат с ФЭП;
- приклеивание к сопряженным торцам органического концентратора оптическим прозрачным клеем Elastasil S-690 двух гибких плат с ФЭП фронтальной стороной к торцам. Склеиваемые поверхности предварительно активируются праймером G-790. Оптический клей наносится таким образом, чтобы не было воздушных прослоек между торцами концентратора и ФЭП во избежание дополнительных потерь;
- приклеивание к другим, противоположным, вышеупомянутым торцам органического концентратора оптическим клеем двух отражателей размерами 2мм×100мм;
- присоединение к выводам гибких плат методом УЗ-сварки проводов длиной 150 мм.

Фотография собранного люминесцентного концентраторного модуля с присоединенными проводами длиной 150 мм приведена на рис. 5.

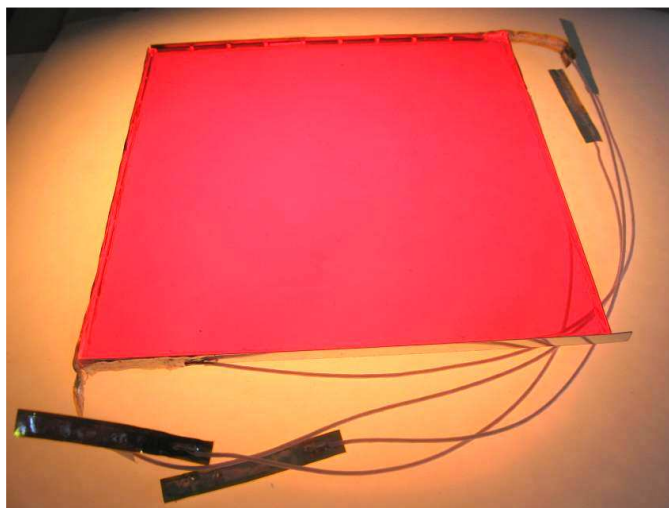


Рис. 5. Собранный люминесцентный концентраторный модуль.

Проведены натурные измерения фотоэлектрических параметров гибкой платы в сборке с кремниевыми ФЭП ($j_{кз}=39$ мА/см², $U_{xx}=0,6$ В, $FF=0,77$, $\eta=14\%$) производства ГП НИТИП при воздействии солнечного излучения. Результаты показали энергетическую эффективность ЛСК $\sim 3,2\%$.

Применение полностью алюминиевой COF-технологии на основе гибких пленочных плат является элегантным трехмерным решением для компактных соединений между коммутирующими элементами и фотопреобразователями, которое позволяет обеспечить минимизацию объема модуля по сравнению с существующими аналогами и легкость встраивания в архитектуру зданий (стены, окна, крыши).

4. Заключение.

Новизна разработки заключается в концептуальном подходе к созданию люминесцентного концентраторного модуля. Согласно данной концепции, отказ от проволочного монтажа и использование гибких кабелей и плат на основе безадгезивных алюминий-полиимидных лакофольговых диэлектриков дает возможность устанавливать на торцах ЛСК и осуществлять без сложной прецизионной оснастки последовательно-параллельную коммутацию большого количества фотопреобразователей с высоким коэффициентом заполнения.

Решена проблема надежной сборки трехмерных конструкций с использованием разработанной нами инновационной «chip-on-flex» технологии. Исключение проволочного монтажа при сборке концентраторных модулей позволяет снизить стоимость генерирующих устройств за счет упрощения сборки мозаичных витражей из отдельных модулей при установке их в оконных проемах жилых и офисных помещений, на крышах домов.

Дальнейшие теоретические и практические исследования будут направлены на поиск оптимальных вариантов люминесцентных концентраторных модулей, расчет потерь излучения в различных конструктивах, эффективное использование многослойных органических оптимизированных концентраторов солнечного света и оптимизацию технологии сборки.

Принцип концентрации света в органических концентраторах позволяет строить простые солнечные батареи с расширенным диапазоном воспринимаемых длин волн, используя несколько стёкол, каждое из которых улавливает и концентрирует свет своей частоты. В торцах таких стёкол можно поместить солнечные элементы, имеющие спектральную чувствительность того или иного диапазона.

Также представляет интерес использование люминесцентных концентраторных модулей совместно со светодиодами в декоративном осветительном блоке, где одна и та же органическая пластина будет выполнять функцию концентратора для накопления солнечной энергии в дневное время и функцию рассеивателя света от светодиодов в ночное время.

Литература

1. Goldschmidt J.C., Peters M., Dimroth F. et al. Efficiency enhancement of fluorescent concentrators with photonic structures and material combinations. Presented at the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1-5 September, 2008, Valencia, Spain.
2. Goldschmidt J.C., Peters M., Dimroth F. et al. Developing large and efficient fluorescent concentrator systems. Presented at the 24th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany.
3. Peters M., Goldschmidt J.C., Loper P et al., The effect of photonic structures an the light guiding efficiency of fluorescent concentrators // Journal of Applied Physics.- 2009.- №105(014909).- P. 014901-014910.
4. Pravettoni M., Daniel J. Farrell, A.J. Chatten, Raul Bose, R.P. Kenny and K.W.J. Barnham, External quantum efficiency measurement of luminescent solar concentrators: a study of the impact of backside reflector size and share.- Corresponding author.- Fax: +39(0)332789268
5. J.C. Goldschmidt, M. Peters, A. Bosch, H. Helmers, F. Dimroth, S. W. Glunz and G. Willeke, Increasing the efficiency of fluorescent concentrator systems // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2009. -№ 93. - P. 176-182.
6. Weber W. H., Lamber I. Luminescent greenhouse collector for solar radiation // Applied Optics. - 1976. -№15(10).-P. 2299-2300.
7. Закс М. Б., Матвиенко Г. Н., Попов В. В. Люминесцентные солнечные концентраторы // Зарубежная радиоэлектроника 1984.- №8.- С. 4-47.
8. Chatten A.J., Barnham K.W.J., Buxton B. F., Ekins-Daukes N. J., A new approach to modeling quantum dot concentrators // Solar Energy Materials and Solar Cells.- 2003.- №75(3-4).- P. 363-371.
9. Slooff L. H., Bende E. E., Burgers A. R. et al. A luminescent solar concentrator with 7,1% power conversion efficiency // Physica Statut Solidi RRL.- 2008.- №2(6).- P. 257-259.
10. Замирец Н.В., Борщев В.Н., Листратенко А.М., Антонова В.Н., Семенов Л.П., Проценко М.А., Тымчук И.Т., Алюминиевая «Chip on Flex» (COF) технология в радиационном приборостроении // Технология приборостроения.-2007.- №2.-С. 3-10.
11. www.alanod.de

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ КОНЦЕНТРАТОРНИХ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ НА ГНУЧКИХ АЛЮМІНІЙ- ПОЛІІМІДНИХ ПЛАТАХ

В. М. Борщов, О.М. Лістратенко, В.А. Антонова, Я.Я.Костишин, М.А. Проценко, І.Т.Тимчук, А.В. Єфанова, Л.В.Клімова, Ю.А.Шуленко, Е.І.Дегтярьова, В.Г.Сенчішин
В роботі розглянуто питання розробки концентраторних люмінесцентних сонячних модулів наземного використання і їх складання на основі інноваційної технології “кристал на гнучкому носії” (chip on flex).

CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL DECISIONS OF LUMINESCENT CONCENTRATOR SOLAR MODULES ON FLEXIBLE ALUMINIUM-POLYIMIDE BOARDS

V.N.Borshchov, A.M.Listratenko, V.A.Antonova, J.J.Kostyshin, M.A.Protsenko, I.T.Tymchuk, A.V.Iefanova, L.V.Klimova, J.A.Shulenko, E.I.Degtyaryova, V.G.Senchishin
In this work the questions of development of luminescent concentrator solar modules for terrestrial application and realization of their assembly on the basis of innovative technology «crystal on flexible board» (chip-on-flex) are considered